

复杂铜波导的内腔镀银工艺

易伟红, 周远才

(中航工业雷达与电子设备研究院, 无锡 214063)

[摘要] 铜波导作为功率传输器件,其内腔镀银质量的优劣将直接影响其传输性能的高低,但按照传统的电镀工艺很难保证复杂铜波导内腔获得均匀的银镀层。从产品的结构设计、加工工艺等方面,分析了影响复杂铜波导内腔镀银质量的主要因素,并结合表面处理过程控制、添加辅助阳极、改进电镀工艺等方面,提出了提高复杂铜波导内腔镀银质量的方案。

[关键词] 复杂铜波导; 电镀; 镀层质量

[中图分类号] TQ153.1⁺6

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2012)05-0105-03

The Technology of Silver Electroplating of Complicated Copper Waveguide's Cavity

YI Wei-hong, ZHOU Yuan-cai

(AVIC Radar and Avionics Institute, Wuxi 214063, China)

[Abstract] As power transmission device, copper waveguide's transmission performance is directly affected by silver electroplating quality in its cavity. If traditional electroplating process is used, it is difficulty to achieve uniform silver electrodeposit in the cavity of complicated copper waveguide. From the aspect of the product's structure design and machining technics, the some key factors which have effects on electroplating quality of the cavity of complicated copper waveguide were analyzed. In addition, combining with some methods about process control of surface processing, appending of assistant anode, improving of electroplating technics, the solution on improving electrodeposit quality of the waveguide's cavity was proposed.

[Key words] complicated copper waveguide; electroplating; electrodeposit quality

波导作为功率传输器件,在机载火控雷达领域大量应用,按其材质,分为铜波导和铝波导两种。铜波导需进行预镀铜和电镀银处理,以满足电性能指标的要求,其传输性能的高低依赖于波导内腔镀银质量的优劣。复杂铜波导是指出于雷达对波导安装空间的限制,而被设计成具有多个折弯结构的铜波导,其内腔镀银质量难以保证。如采用普通的电镀方式,波导内腔的镀层很薄或基本无镀层,这不仅难以达到电气性能的指标要求,而且满足不了内腔最基本的防护性能。如何保证复杂铜波导内腔的镀银质量,成为了亟待解决的技术问题。文中介绍了保证复杂铜波导内腔镀银质量的方案,可在一定程度上满足波导的电性能和防护性能需求。

1 内腔镀银质量的影响因素

影响复杂铜波导内腔镀银质量的因素主要有:波

导的结构形状、内腔的焊接质量、电镀过程控制和电镀工艺水平。

1.1 波导形状的影响

应用于火控雷达领域的波导一般工作在微波甚至毫米波段,其口径尺寸小(可小于 10 mm),轴向长度长(可达 50~60 cm)。针对特殊应用的复杂波导,其折弯较多,甚至还有直角折弯(见图 1)。该结构使得

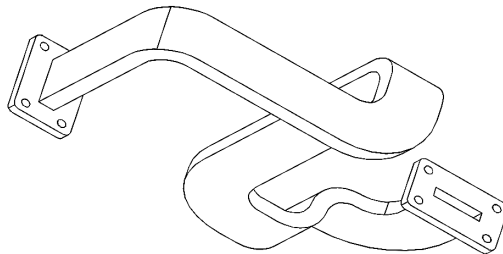


图 1 一种典型的复杂铜波导示意图

Fig. 1 A typical complicated copper waveguide diagram

[收稿日期] 2012-09-04; **[修回日期]** 2012-09-20

[作者简介] 易伟红(1981—),女,四川人,工程师,主要从事表面处理工艺的研究。

在电镀过程中,很难对其内腔添加辅助阳极,即使添加了简单的辅助阳极,其辅助阳极的面积也很难达到正常电镀的要求。此外还会影响腔体内槽液的流动性,内腔溶液中的金属离子被消耗后难以及时补充,从而严重影响镀层的均匀性和致密性。

1.2 焊接质量的影响

复杂铜波导主要通过波导管折弯及多次银钎焊焊接成型,该成型方法会对电镀质量造成一定影响,主要表现为:多次焊接前的清洗会导致波导法兰部位脱锌;内腔某些部位在焊接过程中经多次高温,会形成难以去除的氧化皮;对于未焊透的焊缝,在前处理和电镀过程中会残留溶液,不仅造成槽液的交叉污染,还会加剧电镀难度,影响镀层质量。

1.3 电镀过程控制的影响

对多次焊接成型的深孔复杂波导进行电镀,前处理过程中任何一个步骤未处理到位都将直接影响电镀的质量。如多次焊接后的波导表面有很重的氧化皮,若采用普通铜件的酸洗工艺进行前处理,很容易导致波导法兰盘表面脱锌、零件过腐蚀。此外,在电镀过程中,复杂波导各表面的电流密度分布不均,尤其是内腔部位处于低电流区,为保证镀液有很好的分散能力和深度能力,对镀液的控制要求更为严格。如当镀铜液中存在微量的重金属杂质离子时,对于普通零件的电镀没有明显影响,而对于深孔、多弯的铜波导,会造成内腔局部铜镀层发暗、发黑,该部位如再进行镀银处理,将会起皮、起泡。

1.4 电镀工艺的影响

对于多次焊接成型的复杂波导,在波导中部容易存在未焊透的焊缝,使得在前处理过程中容易储存酸碱溶液,采用传统的水洗工艺很难将其清洗干净。这些储存的酸碱溶液不仅会导致其邻近区域无镀层,而且还会污染电镀槽液。同时波导内腔局部出现的氧化皮又需进行强力的除油、酸洗活化处理,很容易导致复杂波导法兰盘脱锌及零件过腐蚀。

此外,由于复杂铜波导结构复杂,在电镀过程中,波导表面的电力线分布不均,即使采取了添加辅助阳极等措施,但使用现有的高频开关直流电源进行电镀,波导内表面与外表面的镀层厚度仍然差别很大。

2 内腔镀银工艺

普通铜合金零件的镀银工艺流程为:除油→水洗→三次酸洗→水洗→活化→水洗→中和→水洗→氰化预镀铜→水洗→活化→水洗→中和→水洗→镀银→水洗→烘干。复杂铜波导的基体材料为 H96 黄铜,因此

其镀银仍然按照普通铜合金的镀银工艺流程进行。不过由于其结构复杂,需对结构设计、加工工艺、镀前预处理以及电镀工艺进行相应的改进。

2.1 改进结构设计及加工工艺

1) 在结构设计中,尽量减少波导的弯角数量,避免小于 90° 的弯角。

2) 改进波导的成型加工工艺,尽量考虑使用波导管折弯成型,减少焊接次数。以图 1 所示的复杂铜波导为例,可将原来 5 段波导管与 2 个法兰端面通过 6 次焊接成型的工艺改为采用 2 段折弯波导管与 2 个法兰端面通过 3 次焊接成型,同时避免在成型波导中部进行焊接。

3) 改进焊接工艺,提高焊接质量,减少焊缝对表面处理加工的不良影响。

2.2 加强过程控制以及镀液日常维护

由于波导的弯角较多,存在未焊透的焊缝,在表面处理过程中容易携带各种溶液,因此在表面处理生产过程中应加强工序之间的清洗,防止各槽液的相互污染。针对不易清洗的未焊透的焊缝,引入超声波等先进的清洗设备可有效改善清洗效果。

对于主镀槽,配备连续过滤设备,勤换滤芯,对槽液中的有机杂质可使用碳纤维滤芯进行过滤。定期对槽液进行电解处理,并严格按照特殊过程控制文件的要求,定期对槽液进行理化分析,调整槽液各组分含量至最佳工艺范围之内。

2.3 改进镀覆工艺

2.3.1 预化学镀铜

波导基体的材质为黄铜,为获得结合力良好的镀层,可进行预镀铜处理。虽然通过添加辅助阳极,可以在复杂波导的内腔获得一定厚度的铜镀层,但是添加辅助阳极的过程复杂,会严重影响生产效率。而化学镀厚铜的工艺技术已经成熟^[1],采用化学镀铜工艺替代电镀铜工艺进行预镀处理,不仅能获得更加均匀的纯铜镀层,而且能有效提高生产效率。

2.3.2 增加柔性辅助阳极及槽液循环

波导的形状复杂,轴向长度长,在正常电镀过程中,电力线分布不均,波导内腔仅仅只有很薄的置换层,很难满足三防性能和电性能的要求。在波导内腔中添加辅助阳极可改变电力线的分布,有助于提高波导内腔的镀层厚度和镀层均匀性。辅助阳极应当具有一定的柔性,表面积满足以下要求: $S_1/S_2 \geq 0.4$ (S_1 为辅助阳极的有效表面积, S_2 为复杂铜波导内腔的表面积)。在辅助阳极的设计过程中,应同时设计辅助工装,以保证操作人员在电镀前后顺利地将辅助阳极从复杂铜波导的内腔穿入、取出。

此外,由于波导内腔的口径小且结构形式复杂、弯角较多,在添加柔性辅助阳极后,波导内腔的槽液流动变慢,浓差极化现象严重,容易导致辅助阳极与波导内腔短路。因此,在电镀过程中对波导内腔施加额外的槽液循环,可有效改善波导内腔的浓差极化现象,并有效避免辅助阳极短路,从而提高电镀质量。

2.3.3 采用双脉冲电镀银工艺

在电镀过程中,虽然已经添加了柔性辅助阳极并在波导内腔施加了额外的槽液循环,使得浓差极化现象有所改善,内腔镀层质量有所提高,但仍不能满足镀层均匀性和致密性要求,需采取更进一步的措施。经不同的工艺试验对比分析,发现采用双脉冲电镀工艺可进一步提高镀层质量,它的工作原理是利用电流脉冲的张弛来增加阴极的活化极化和降低阴极的浓差极化现象^[2],从而使得镀层的均匀性和致密性得以改善。

2.3.4 采用有效的镀后处理

在电镀后,需对零件进行自来水清洗、超声波去离

子水清洗、烘干和密封包装等处理。结构形式复杂的零件不易烘干,可采用抽真空烘干处理。为防止镀银层的变色,还需对镀层进行必要的防变色处理,如无机化合物法、有机化合物法、表面活性剂法及它们相结合的方法等^[3]。考虑到波导产品对电性能的特殊要求,以及在使用时其外表面需进行喷漆处理,其内腔处于相对密封的环境,认为复杂铜波导镀银后,应主要采取电解钝化的方法进行处理。

3 对比测试结果

以图 1 所示的复杂波导为例,改进结构设计,优化加工工艺,并按照新的工艺方法进行镀银。对电性能指标(传输损耗)、平均厚度、抗硫性能以及耐盐雾性能进行测定,其测定结果均优于按照传统工艺处理的复杂波导,见表 1。

表 1 传统工艺和新工艺的测试结果对比

Tab. 1 Comparative tests results of traditional and new electroplating

检测项目	传统工艺	新工艺
波导传输损耗	>0.5 dB	<0.1 dB
波导法兰盘端面的镀银层平均厚度	约 15 μm	约 12 μm
波导中部内腔的镀银层平均厚度	约 0.5 μm	约 4 μm
抗硫化钠试验 (5%(质量分数) Na_2S 溶液浸泡)	1 h 后,镀层表面出现黑点;24 h 后,镀层表面已变为黑灰色	24 h 后镀层表面无黑点
中性盐雾试验 (按 GJB 150.11A—2009 进行)	24 h 后开始长铜绿,96 h 后,铜绿的面积达 95%	24 h 后发现长铜绿,96 h 后,长铜绿的面积为 20%

4 结语

从产品的结构设计和加工工艺等方面,给出了提高复杂铜波导内腔镀银质量的解决方案。虽然波导内腔镀层的厚度与波导外表面的镀层仍然存在很大差异,但铜波导的耐蚀性能和传输性能已经有了很大的改善。这对于提高雷达探测性能,从而提升战机整体的生存和突防能力具有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] 李宁. 化学镀实用技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2012:5—9.
- [2] 韩苗兴,何永夫. 电镀用脉冲电源的应用推广[J]. 表面技术, 2002, 31(5):65.
- [3] 嵇永康,周延伶. 贵金属和稀有金属电镀[M]. 北京:化学工业出版社, 2009:276.

(上接第 104 页)

[参 考 文 献]

- [1] 李卫明,李文国,刘彬云. 环保型化学镀铜新技术[J]. 印制电路信息, 2004(12):31—34.
- [2] 吴丽琼,杨防祖. 乙醛酸化学镀铜的电化学研究[J]. 电化学, 2005, 11(4):402—406.
- [3] 胡龙兴. 化学镀铜废水的处理[J]. 上海有色金属, 1995, 16(6): 334—339.

- [4] 王清,江丽,陈志传,等. 化学镀铜废液的综合利用和处理[J]. 化工技术与开发, 2003, 32(4): 40—42.
- [5] 姜晓霞,沈伟. 化学镀[M]. 北京:国防工业出版社, 2000.
- [6] 熊海平,萧以德,伍建华. 化学镀铜的进展[J]. 表面技术, 2002, 31(2):5—6.
- [7] 郑雅杰,邹伟红,易丹青. 酒石酸钾钠和 EDTA·2Na 盐化学镀铜体系[J]. 中南大学学报, 2005, 36(6):971—976.